



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO



FACULTAD DE INGENIERÍA

DISPOSITIVOS Y CIRCUITOS ELECTRÓNICOS

---

## Serie 4

### Transistores

---

*Alumno(s):*  
Francisco Pablo RODRIGO

*Profesor:*  
Dra. Moumtadi FATIMA

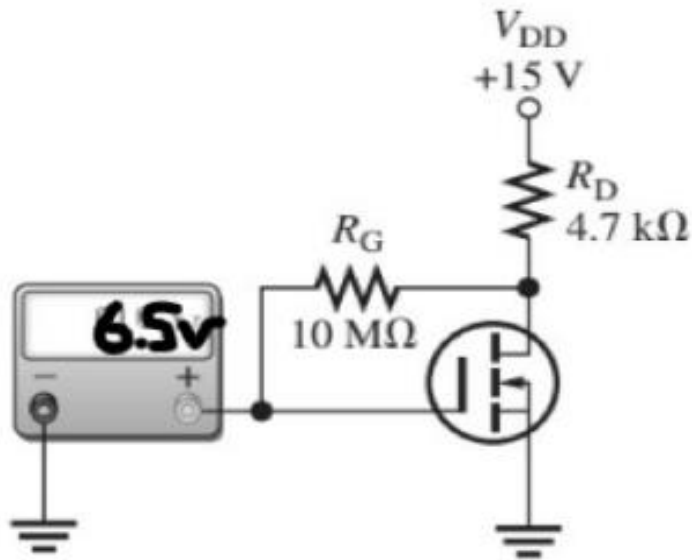
Grupo: 10

14 de mayo de 2019

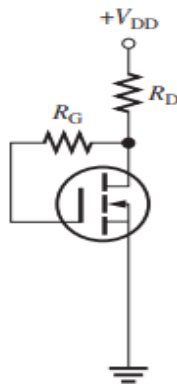
## Polarización

1.-Del siguiente circuito determine

- a) el tipo de polarización
- b) si es de enriquecimiento o de empobrecimiento
- c) la cantidad de corriente en el drenaje



- a) Polarización mediante realimentación de drenaje.



- b) Enriquecimiento.

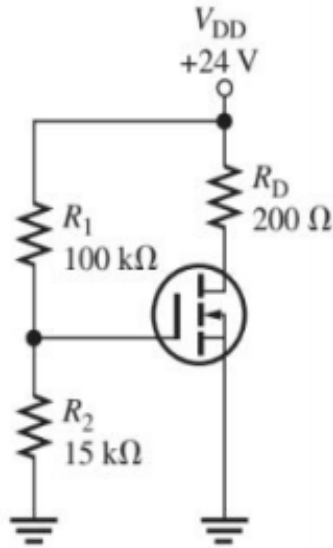
c)

$$I_D = \frac{V_{DD} - V_{DS}}{R_D} = \frac{15 \text{ v} - 6.5 \text{ v}}{4.7 \text{ k}\Omega} = 1.80 \text{ mA}$$

## 2.-Determine VGS y VDS para el circuito E-MOSFET en la figura

Considere que este MOSFET particular tiene valores mínimos de  $I_D(\text{encendido})=220 \text{ mA}$  con  $V_{GS}=4 \text{ V}$  y  $V_{GS}(\text{umbral})=2.2 \text{ V}$ . adicionalmente:

- el tipo de polarización
- si es de enriquecimiento o de empobrecimiento



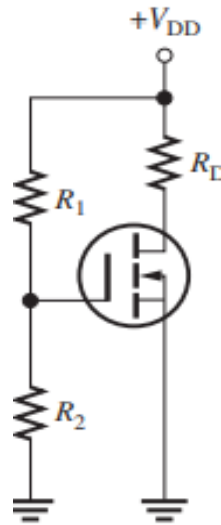
$$V_{GS} = \left( \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) V_{DD} = \left( \frac{15 \text{ k}\Omega}{115 \text{ k}\Omega} \right) 24 \text{ v} = 3.13 \text{ v}$$

$$V_{DS} = V_{DD} - I_D R_D = 24 \text{ v} - (58.7 \text{ mA})(200 \text{ }\Omega) = 11.27 \text{ v}$$

$$I_D = (67.90 \text{ mA/v}^2)(3.13 \text{ v} - 2.2 \text{ v})^2 = 58.7 \text{ mA}$$

$$k = \frac{220 \text{ mA}}{(4 \text{ v} - 2.2 \text{ v})^2} = 67.90 \text{ mA/v}^2$$

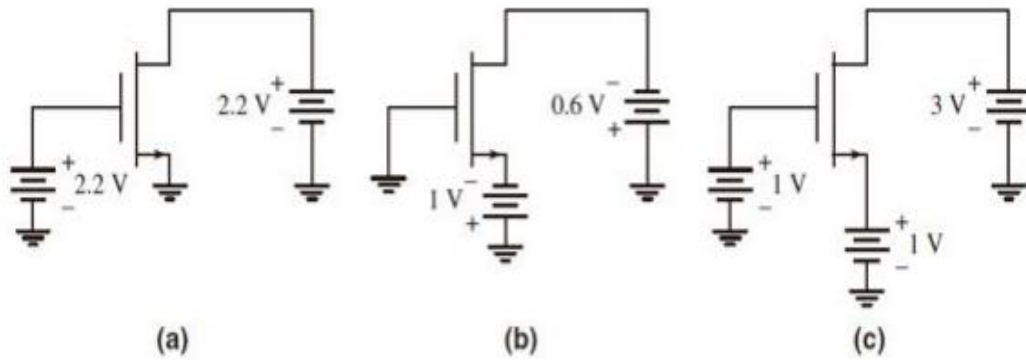
a) Polarización mediante divisor de voltaje.



b) Enriquecimiento.

## Análisis en gran señal

1. El voltaje de umbral de cada transistor es  $V_T = 0.4 \text{ V}$ . Determine la región de operación del transistor en cada circuito.



a) Saturación.

b) No saturación.

c) Corte

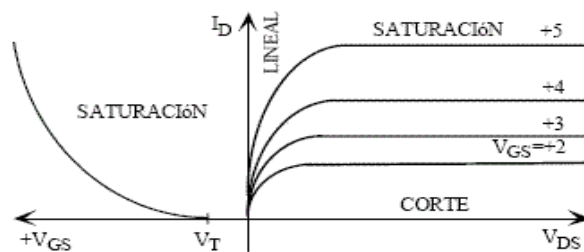
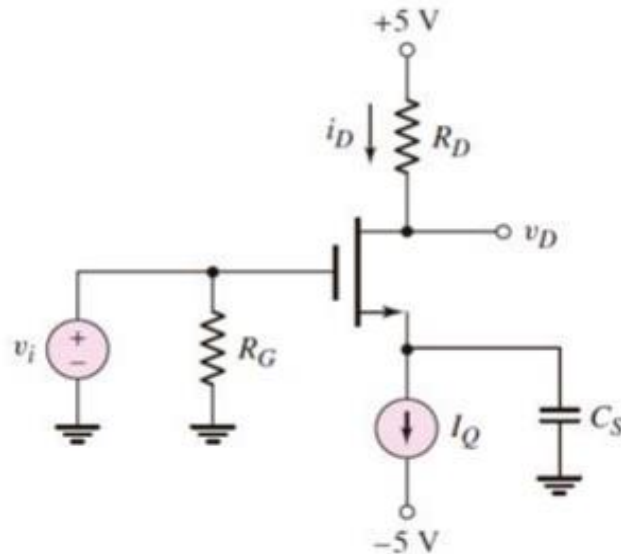


Figura 1.16. Curvas de características de un NMOS.

2. Diseñe un circuito como el mostrado en la figura. En el circuito se debe satisfacer que  $I_{DQ} = 250 \mu A$  y  $V_D = 2.5 V$ . Considere un transistor con  $V_t = 0.8 V$ ,  $k'_n = 80 \frac{\mu A}{V^2}$  y  $\frac{W}{L} = 3$ .

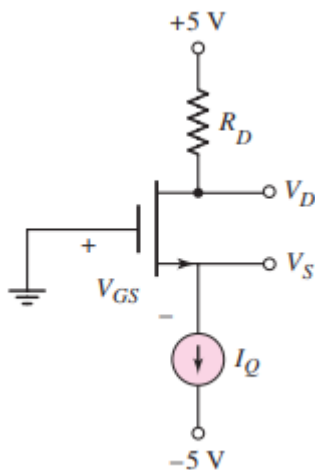


$$I_D = \left(\frac{k'_n}{2}\right)\left(\frac{W}{L}\right)(V_{GS} - V_{TN})^2$$

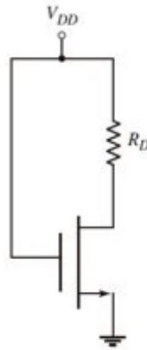
$$250 = \left(\frac{80}{2}\right)(3)(V_{GS} - 0.8)^2 \Rightarrow V_{GS} = 2.24$$

$$I_D = \frac{5 - V_D}{R_D} = \frac{5 - 2.5}{0.25} = 10 K\Omega$$

$$V_{DS} = V_D - V_S = 2.5 - (-2.24) = 4.74 v$$



3. El transistor en el circuito mostrado tiene parámetros  $V_t = 0.8 \text{ V}$  y  $K_n = 0.25 \frac{\text{mA}}{\text{V}^2}$ . Dibuja la línea de carga y grafica el punto Q para  $V_{DD} = 4 \text{ V}$ ,  $R_D = 1 \text{ k}\Omega$ .



- Determinando recta

$$V_{DD} = 4 \text{ [V]}$$

$$I_{D0} = \frac{V_{DD}}{R_D} = \frac{4}{1 \times 10^3} = 4 \text{ [mA]}$$

- Determinando Q

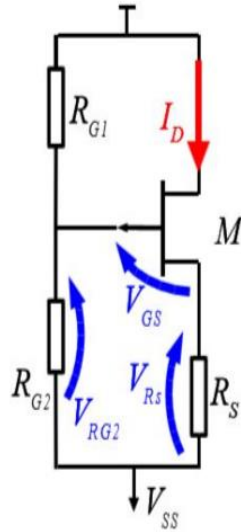
$$V_G = V_{GS} = 4 \text{ [V]}$$

$$I_D = K_n(V_{GS} - V_{TN})^2 = (0.25 \times 10^{-3})(4 - 0.8)^2 = 2.12 \text{ [mA]}$$

$$V_{DS} = V_{DD} - I_D R_D = 4 - (2.12 \times 10^{-3})(1 \times 10^3) = \mathbf{1.88 \text{ [V]}}$$



Calcular razonada y justificadamente el punto de trabajo del circuito de la figura, justificando los resultados obtenidos.  
 Datos:  $V_{SS} = 18V$ ,  $R_{G1} = 390K\Omega$ ;  $R_{G2} = 270K\Omega$ ;  $R_S = 3,3K\Omega$  y para el transistor  $M$ :  $|V_P| = 5,5V$  e  $I_{DSS} = -30mA$ .  
 Considerar la curva del transistor ideal.



$$V_{RG2} = \frac{R_{G2}}{R_{G1} + R_{G2}} (-V_{SS}) = \frac{270 \times 10^{-3}}{270 \times 10^{-3} + 390 \times 10^{-3}} (-18) = -7.3636 [V]$$

Se tiene que:

$$I_D = I_{DSS} \left( 1 - \frac{|V_{GS}|}{|V_P|} \right)^2 \quad y \quad I_D = \frac{V_{RG2} - |V_{GS}|}{R_S}$$

Igualando:

$$I_{DSS} \left( 1 - \frac{|V_{GS}|}{|V_P|} \right)^2 = \frac{V_{RG2} - |V_{GS}|}{R_S}$$

$$I_{DSS} \left( 1 - 2 * \frac{|V_{GS}|}{|V_P|} + \frac{|V_{GS}|^2}{|V_P|^2} \right) = \frac{V_{RG2} - |V_{GS}|}{R_S}$$

$$I_{DSS} R_S \left( 1 - 2 * \frac{|V_{GS}|}{|V_P|} + \frac{|V_{GS}|^2}{|V_P|^2} \right) - V_{RG2} + |V_{GS}| = 0$$

$$I_{DSS} R_S - 2(I_{DSS} R_S) \frac{|V_{GS}|}{|V_P|} + I_{DSS} R_S \frac{|V_{GS}|^2}{|V_P|^2} - V_{RG2} + |V_{GS}| = 0$$

$$I_{DSS} R_S \frac{|V_{GS}|^2}{|V_P|^2} - 2(I_{DSS} R_S) \frac{|V_{GS}|}{|V_P|} + |V_{GS}| + I_{DSS} R_S - V_{RG2} = 0$$

Sustituyendo:

$$\frac{(-30m)(3.3k)}{5.5^2} |V_{GS}|^2 - \left( \frac{2(-30m)(3.3k)}{5.5} - 1 \right) |V_{GS}| + (-30m)(3.3k) - (-7.364) = 0$$

$$-3.2727|V_{GS}|^2 - 37|V_{GS}| - 91.6364 = 0$$

$$|V_{GS}|_1 = 7.64133 \text{ [V]}$$

$$|V_{GS}|_2 = 3.6643 \text{ [V]}$$

Como  $|V_{GS}|_1 > |V_P|$ ,  $|V_{GS}|_1$  no es válido

Por lo tanto  $|V_{GS}|_2$  es correcto

Sustituyendo  $|V_{GS}|_2$  en  $I_D$ :

$$I_D = \frac{(-7.3664) - 3.6643}{3.3k} = -3.342 \text{ [mA]}$$

$$V_{DS} = (-V_{SS}) - R_S I_D = (-18) - (3.3k)(-3.342m) = -6.972 \text{ [V]}$$

El punto de operación es cuando:

$$V_{DS} = -6.972 \text{ [V]} \quad y \quad I_D = -3.342 \text{ [mA]}$$

## Análisis en Pequeña Señal

1. Calcule la transconductancia de un MOSFET de canal N. Considere los parámetros del FET como  $V_T = 0.85 \text{ [V]}$ ,  $k'_n = 625 \left[ \frac{\mu A}{V^2} \right]$ ,  $y \frac{W}{L} = 5$ . Asuma que la corriente del drenador es  $I_D = 0.498 \text{ [mA]}$ .

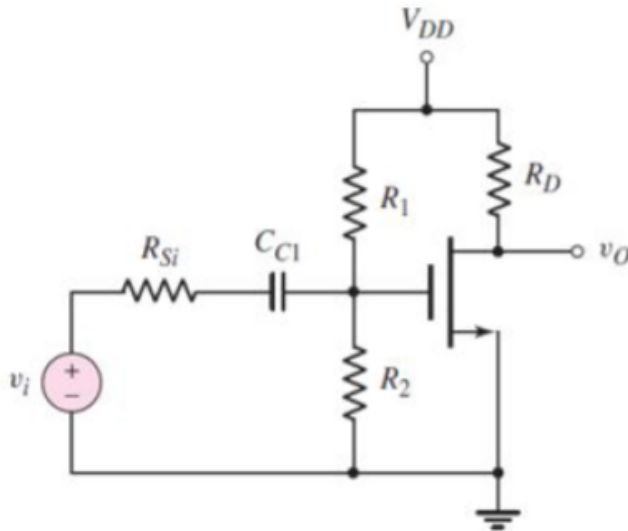
Resp.:  $g_m = 1.7642 \left[ \frac{mA}{V} \right]$

$$K_n = \frac{k'_n}{2} * \frac{W}{L} = \left( \frac{625 \times 10^{-6}}{2} \right) (5) = 1.5625 \times 10^{-3} \left[ \frac{mA}{V^2} \right]$$

$$g_m = 2\sqrt{K_n I_{DQ}} = 2\sqrt{(1.5625 \times 10^{-3})(0.498 \times 10^{-3})} = 1.764227 \left[ \frac{mA}{V} \right]$$



2. Los parámetros del circuito mostrado en la figura son  $V_{DD} = 5\text{ V}$ ,  $R_1 = 520\text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 320\text{ k}\Omega$ ,  $R_D = 10\text{ k}\Omega$ , y  $R_{Si} = 0$ . Asuma que los parámetros del transistor son  $V_T = 0.8\text{ V}$ ,  $K_n = 0.2\left[\frac{\text{mA}}{\text{V}^2}\right]$ , y  $\lambda = 0$ .



- Determine los parámetros  $g_m$  y  $r_o$  de pequeña señal del transistor.
- Encuentre la ganancia de voltaje de pequeña señal.
- Calcule el valor de las resistencias de entrada y salida  $R_i$  y  $R_o$ .

Resp.:

- $g_m = 0.442\left[\frac{\text{mA}}{\text{V}}\right]$ ,  $r_o = \infty$
- $A_v = -4.42$
- $R_i = 198\text{ [k}\Omega\text{]}, R_o = R_D = 10\text{ [k}\Omega\text{]}$

$$\text{a) } V_{GSQ} = \left(\frac{R_2}{R_2 + R_1}\right)(V_{DD}) = \left(\frac{320 \times 10^3 [\Omega]}{320 \times 10^3 [\Omega] + 520 \times 10^3 [\Omega]}\right)(5[v]) = 1.9[v]$$

La corriente de drenado será entonces:

$$I_{DQ} = K_n(V_{GS} - V_{TN})^2 = \left(0.2 \times 10^{-3} \left[\frac{\text{A}}{\text{V}^2}\right]\right)(1.9[v] - 0.8[v])^2 = 242[\mu\text{A}]$$

$$g_m = 2\sqrt{K_n I_{DQ}} = 2\sqrt{(0.2 \times 10^{-3} \left[\frac{\text{A}}{\text{V}^2}\right])(242[\mu\text{A}])} = 440\left[\frac{\mu\text{A}}{\text{V}}\right]$$

$$r_o = \frac{1}{\lambda I_Q} = \frac{1}{(0)(2242[\mu\text{A}])} \rightarrow \infty$$

$$b) R_i = R_1 R_i = R_1 || R_2 = 520[k\Omega] || = 198[k\Omega]$$

La ganancia será entonces:

$$A_v = -g_m(r_o || R_D) \left( \frac{R_i}{R_i + R_{Si}} \right) = (-440[\frac{\mu A}{V}]) (\infty || 10 \times 10^3 [\Omega]) \left( \frac{198[k\Omega]}{198[k\Omega] + 0[\Omega]} \right) = -4.4$$

$$c) R_i = R_1 R_i = R_1 || R_2 = 520[k\Omega] || = 198[k\Omega]$$

$$R_o = R_D || r_o = 10[k\Omega] || \infty = 10[k\Omega]$$

3. Determine la ganancia de voltaje de pequeña señal para el PMOS de la Figura 1. Los parámetros del transistor son  $K_p = 0.8 \left[ \frac{mA}{V^2} \right]$ ,  $V_T = -0.5 [V]$ , y  $\lambda = 0$ . El valor de  $I_{DQ} = 0.297[mA]$ .

El circuito equivalente en pequeña señal se muestra en la Figura 2. Ocúpese como referencia para obtener el valor de  $V_i$  y  $V_o$ .

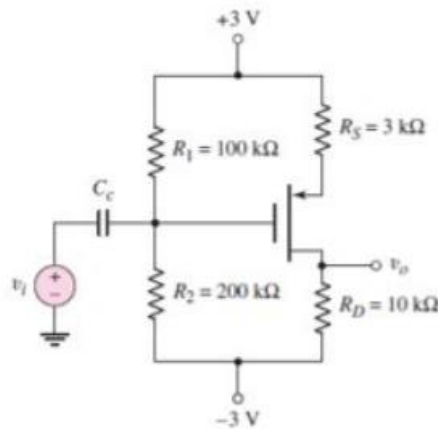


Figura 1

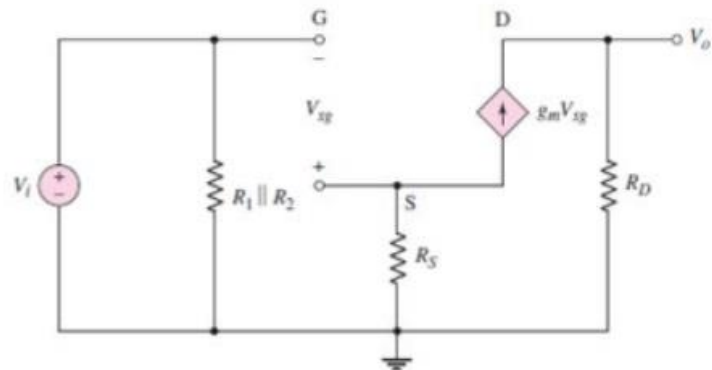


Figura 2

$$\text{Resp.: } A_v = -2.48$$

$$g_m = 2\sqrt{K_n I_{DQ}} = 2\sqrt{(0.8 \times 10^{-3} \left[ \frac{A}{V^2} \right]) (0.297[mA])} = 0.975 \left[ \frac{mA}{V} \right]$$

Entonces la ganancia será:

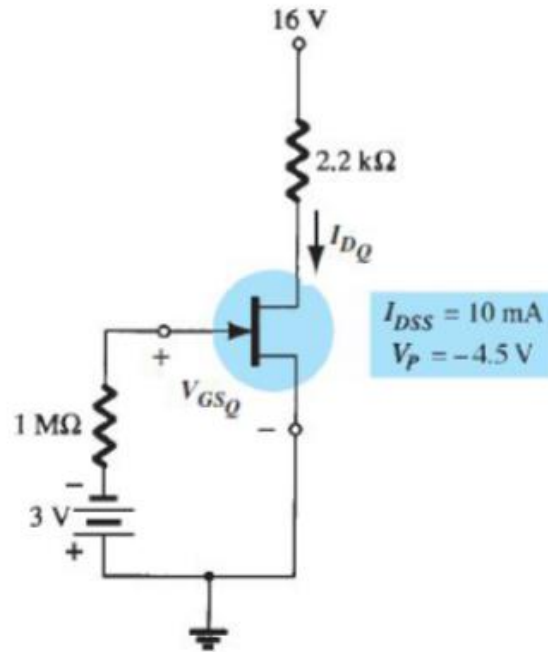
$$A_v = \frac{-(0.975)(10)}{1 + (0.975)(3)} = -2.48$$

## EJERCICIOS JFET

1. Para el siguiente circuito determine

a)  $I_{DQ}$

b)  $V_{GSQ}$

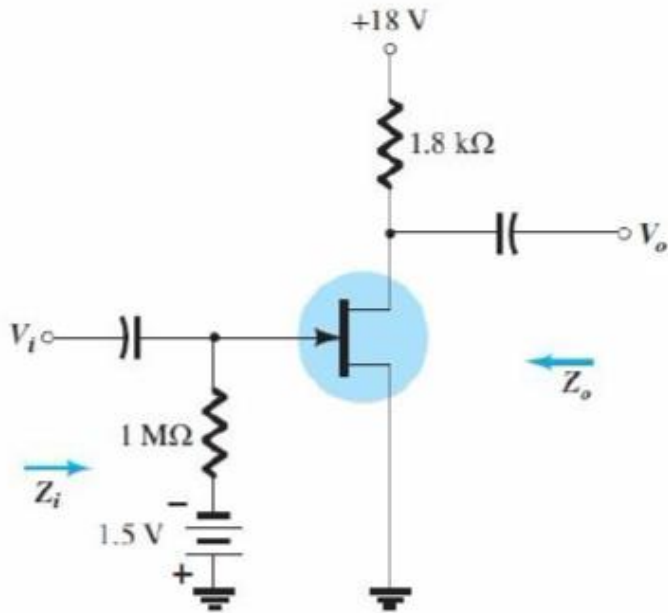


$$\begin{aligned} \text{a) } I_{DQ} &= I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2 \\ &= 10[\text{mA}] \left(1 - \frac{-3[\text{V}]}{-4.5[\text{V}]}\right)^2 \\ &= 10[\text{mA}] (0,333)^2 \\ &= \mathbf{1.11[\text{mA}]} \end{aligned}$$

$$\text{b) } V_{GS} = -3[\text{V}]$$

2. Determine  $Z_i, Z_o, A_v$  para el siguiente circuito si  $I_{DSS} = 12 [mA]$ ,  $V_p = -6 [V]$ ,

$$y_{os} = 40 [\mu S] \text{ y } V_{GSQ} = -1.5 [V]$$



$$V_{GSQ} = -1.5 [v]$$

$$g_m = \frac{2I_{DSS}}{|V_p|} \left( 1 - \frac{V_{GSQ}}{V_p} \right) = \frac{2(12[mA])}{6[v]} \left( 1 - \frac{-1.5[v]}{-6[v]} \right) = 3 [mS]$$

$$Z_i = R_G = 1 [M\Omega]$$

$$Z_o = R_D || r_d = \frac{1}{y_o} = \frac{1}{40 [\mu S]} = 25 [k\Omega]$$

$$= 1.8 [k\Omega] || 25 [k\Omega]$$

$$= 1.68 [k\Omega]$$

$$A_v = -g_m(R_D || r_d) = -(3mS)(1.68[k\Omega]) = -5.04$$